

空空导弹海洋大气自然环境试验研究

张艳辉*, 史明丽, 黄帅军

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 针对空空导弹随航母服役需求和海洋大气自然环境适应性风险, 结合相关标准和研制经验, 对空空导弹海洋大气自然环境试验方案设计流程、方法及要点进行了研究。提出了一套空空导弹海洋大气自然环境试验方案, 可用于指导新研型号科学有效地开展自然环境试验, 为回答空空导弹海洋大气自然环境适应性指标提供了支撑。空空导弹应系统策划海洋大气自然环境试验, 以尽早暴露问题, 实现产品设计改进, 为上舰环境适应性的提高奠定基础。同时, 还应大力开展自然加速环境试验技术和动态自然环境试验技术研究工作。

关键词: 空空导弹; 海洋大气; 自然环境试验; 试验剖面

中图分类号: TG760

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2024)03-0011-05

DOI: 10.7643/ issn.1672-9242.2024.03.002

Marine Atmospheric Natural Environment Test for Air-to-Air Missiles

ZHANG Yanhui*, SHI Mingli, HUANG Shuaijun

(China Airborne Missile Academy, Henan Luoyang 471009, China)

ABSTRACT: The work aims to validate and evaluate the adaptability level of air-to-air missiles which endure marine atmospheric natural environment. For the aircraft carrier service requirements and the adaptability risks of marine atmospheric natural environment, combined with relevant standards and development experiences, the design processes, methods and key points of marine atmospheric natural environment test plan for air-to-air missiles were studied. A natural environment test scheme for air-to-air missiles was proposed finally, which could be used to guide new models to conduct natural environment tests scientifically and efficiently, and provide support for answering the marine atmospheric natural environment adaptability indicators of air-to-air missiles. It is required to plan marine atmospheric natural environment tests for air-to-air missiles systematically to expose problem and improve design as early as possible, and lay the foundation for improving the adaptability of the aircraft carrier environment. At the same time, it is also required to research on the natural accelerated environment test technology and the dynamic natural environment test technology vigorously.

KEY WORDS: air-to-air missile; marine atmosphere; natural environmental test; test profile

随着我国社会与经济的发展, 海洋利益及海上安全重要性凸显, 使得空空导弹走向海洋, 并须满足沿/

近/中/远海、舰面及岛礁等基地长期驻训和作战需要, 这给空空导弹环境适应性带来了更高的挑战。自然环

收稿日期: 2023-12-05; 修订日期: 2024-02-21

Received: 2023-12-05; Revised: 2024-02-21

引文格式: 张艳辉, 史明丽, 黄帅军. 空空导弹海洋大气自然环境试验研究[J]. 装备环境工程, 2024, 21(3): 11-15.

ZHANG Yanhui, SHI Mingli, HUANG Shuaijun. Marine Atmospheric Natural Environment Test for Air-to-Air Missiles[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(3): 11-15.

*通信作者 (Corresponding author)

境试验作为装备环境工程三大试验之一,具有典型性、真实性和不可替代性,它与传统试验室环境试验截然不同^[1]。由于长期以来,空空导弹随航母的服役要求并未明确提出,空空导弹海洋大气自然环境试验领域并没有得到重视。面对空空导弹上舰环境适应性的显著风险,亟需开展海洋大气自然环境试验技术研究,以指导新研型号科学有效地开展海洋大气自然环境试验,减少研制过程中由于环境适应性问题而造成的设计反复,保证研制周期,降低研制成本,提高研制效费比,对新研型号满足寿命期内全天候、多地域作战能力具有十分重要的意义。

1 海洋大气自然环境对空空导弹的影响

海洋大气自然环境条件复杂多变,具有高温、高湿、高盐雾及强太阳辐射的“三高一强”显著特征^[2-3]。以我国某海域为例,气温大于 30℃ 的天数每年超过 160 d^[4];相对湿度最高 100%,且 1 年有 9 个月以上相对湿度大于 80%^[5];大气含盐量是内陆地区的 50~100 倍^[6];年太阳辐射总量是内陆地区的 1.4 倍左右。可见,海洋大气自然环境相对于内陆环境更加恶劣,势必会对空空导弹产生较大影响^[7]。美国海军统计数据表明,复杂的海洋自然环境作用下,出现腐蚀、老化、膨胀、开裂、长霉和虫蛀等而诱发的故障数约占总故障数的 3/4,维修费用约占海军维修总费用的 1/3^[8-9]。

空空导弹弹体结构形式复杂,零部件数量众多,材料种类繁多,制造工艺多数较为特殊,海洋大气自然环境对其具有极强的破坏力。一方面会造成空空导弹壳体、紧固件、楔块、接插件等金属裸露部位出现腐蚀现象,导致间隙配合改变、结构强度下降和运动/传动部件失灵等故障,尤其是关重承力结构(如吊挂、螺钉等)腐蚀,会造成结构承载能力下降或消失,直接影响产品飞行安全;同时,海洋大气自然环境还会造成空空导弹弹体防护涂层、防/隔热复合材料、密封胶、密封圈、陶瓷罩体、透波窗口等出现吸潮、鼓包、开裂、脱黏、失光、变色、粉化等现象,加速非金属材料 and 结构性能的劣化或失效,影响产品正常使用。另一方面,潮湿海洋大气还会进入产品内部,造成产品结构损坏、功能丧失或性能超差,该影响更是不容忽视,下面以典型案例形式对其进行说明。

空空导弹在舰面挂机值班或临时存放时,将处于恶劣的“三高一强”环境中,白天长时间遭受高温和强太阳辐射,产品内部温度会逐渐升高,压力也会随着升高。密封圈作为空空导弹的主要密封形式,当产品内部压力达到密封圈的最高承载力后,舱段连接处、测试口盖或引信窗口密封圈会发生膨胀变形、损

坏。当夜间(或阴雨天)环境温度下降时,产品内部温度逐渐下降,压力也随着下降,受损的密封圈会收缩,并出现毛细孔隙,导致内部干燥空气慢慢泄漏,即“慢撒气”现象^[5]。温度变化所引起的产品内外周期性交变的压力差为气体交换提供动力,随着时间推移,产品内部会通过“呼吸效应”吸入大量含有酸性盐雾、霉菌等腐蚀性组分的潮湿海洋大气,最终导致产品密封失效。产品密封失效后,腐蚀性大气会进入产品内部,形成凝露,进而造成内部结构件腐蚀、电路板和电缆长霉、电气故障等现象。

2 空空导弹海洋大气自然环境试验方案设计

2.1 试验设计

2.1.1 试验件设计

空空导弹研制过程中,方案阶段后期和工程研制阶段早、中期都应当开展自然环境试验^[10],且每个阶段的试验件类型各不相同。综合考虑试验目的、研制特点、研制进度以及试片、零件、部件或整机试验的优缺点等因素,空空导弹海洋大气自然环境试验宜采用“试样试验”和“整机试验”相结合的方式,按照“一次规划、分步实施、持续改进”的原则分 3 步开展。

第一步:方案阶段后期,选取典型试样进行试验,目的是对材料、工艺或结构等进行对比筛选,快速暴露问题,为设计选材和制定腐蚀控制对策提供科学依据。根据空空导弹常用材料、表面防护工艺措施,典型件的耐环境能力及其在产品上的使用部位、暴露方式和寿命期可能遇到的环境,筛选出具有一定代表性并能覆盖空空导弹使用情况(如空空导弹不同使用区域、易腐蚀区域)的材料、表面防护工艺措施和典型件等作为试验件选择对象,主要包括不同材料(尤其是新材料)、不同工艺(尤其是新工艺)、不同结构形式、不同连接形式等^[11],同时还要考虑异种金属接触腐蚀问题,见表 1。

第二步:工程研制阶段早期,把优选出来的材料、工艺和典型件等用于结构试验弹进行试验,验证其在当前的结构设计和防护措施下,长期停放在海洋大气自然环境中是否会产生金属腐蚀、非金属件老化、漆层脱落等外观、结构失效、密封失效等。结构试验弹暴露在大气环境中的部分应与真实产品一致,尤其是吊挂、电气接口、壳体漆层、弹体连接螺钉等,内部组件可大幅简化,仅保留典型电路板和典型材料结构件。另外,与结构密封相关的密封圈、密封结构状态也应与真实产品一致。

第三步:工程研制阶段中期,选取真实产品进行试验,结合试验情况和研制进度等,也可采用火工品

表 1 空空导弹常用材料、表面防护工艺、典型件
Tab.1 Common materials, surface protection processes and typical components for air-to-air missiles

序号	类别	材料/牌号/工艺/典型件
1	金属材料	65Mn、30CrMnSiA、18Ni、15-5PH、17-4PH、2Cr13、1Cr17Ni2、1Cr18Ni9、2A12、7A09、TC4 等
2	非金属材料	聚四氟乙烯、硅橡胶、丁腈橡胶、氟硅橡胶、碳纤维、聚酯薄膜、PEEK、环氧聚氨酯底漆等
3	表面防护工艺	发蓝、钝化、镀锌、镀镉钛、镀锌镍、化学氧化、(硫酸、铬酸)阳极氧化
4	关重件	吊挂、连杆、安装接头、骨架等
5	紧固件	楔块、销钉、螺钉等
6	连接件	异种材料组合、螺栓、铆接、焊接件等

为模拟件的真实产品进行试验,对产品外观和功能性能进行全面摸底,以确定产品技术状态。

2.1.2 试验件数量

试验件数量的选择应满足检测项目、统计分析、对比试验、机理分析等各种试验需要,同时还要考虑积累试验数据(延续试验)的需要以及试验经费等因素。一般情况下,对于典型试样,每种状态至少选择 3 件进行试验,以作对比^[12]。对于试验弹,考虑到产品有限、价格昂贵和加工周期长等因素,一般选择 1~2 枚弹进行试验。

2.1.3 试验地点

世界各国的海洋自然环境条件千差万别,热带海

洋区、亚热带海洋区、温带海洋区、寒带海洋区具体的环境特征值不尽相同。空空导弹随航母服役环境实际是世界可航水域,而试验环境仅是我国的四大海区,肯定无法完全覆盖,这就需要根据一定原则对重要、次要因素进行取舍。

根据空空导弹产品特点和上舰要求,在此基础上,收集上舰使用环境数据,开展环境特性及其对产品的影响分析,进而合理确定试验地点。这里应注意试验地点的主要环境参数可适当高于使用环境,但不应低于使用环境,避免欠试验^[13]。条件允许的情况下,可以选择在能代表不同气候类型的地区分别开展试验,使试验结果具有准确性、代表性和可比性。国内部分自然环境试验站环境特征参数见表 2。

表 2 自然环境试验站环境特征参数^[14-19]
Tab.2 Environmental characteristic factors for natural environmental test sites^[14-19]

试验站点	年平均温度/℃	年平均相对湿度/%	海盐离子质量浓度/ (mg·100 ⁻¹ ·cm ⁻² ·d ⁻¹)	太阳年总 辐射量/(MJ·m ⁻²)	气候类型
万宁站	24.6	86	3.5	4 826	热带海洋气候
三亚站	26.5	77	0.313	5 589	热带海洋气候
西沙站	28.1	78	0.253 2	6 851	热带海洋气候
青岛站	12.7	73	0.22	5 268	温带海洋气候
厦门站	20	80	0.038	5 858	亚热带海洋气候

2.2 试验方式

空空导弹随航母服役寿命期主要经历吊装上舰、舰上库房贮存、舰面转运停放、舰面挂机值班等不同状态事件,而长时间的贮存状态就只有舰上库房贮存和舰面挂机值班这 2 个状态。因此,空空导弹在大气中的暴露方式一般为户外暴露和库内暴露。

试验站有远海暴露场、近海暴露场和海面平台暴露场 3 种场地,其中以海面平台暴露场环境最为严酷。为尽快暴露产品环境适应性设计薄弱环节,从而优化改进设计,试验弹可采用海面平台户外暴露的方式,这是产品暴露问题最快、最有效的方式,同时也是典型试样通常采用的方式。考虑到模拟预期随航母服役寿命期剖面,或者在试验弹数量有限的情况下,获得尽可能多的试验数据,也可采用“库内暴露+海面平台户外暴露”交替的方式。允许的情况下,建议

产品数量取为 2 发,一发采用海面平台户外暴露的方式,一发采用“库内暴露+海面平台户外暴露”交替的方式,这样可以全面暴露产品薄弱环节及失效模式,有利于试验结果的评估。

2.3 试验时间

自然环境试验主要反映自然环境对材料、工艺和结构的影响,因此所需试验时间比较长。对于不同材料和工艺等,暴露问题所用时间也不同,金属试样一般 1~6 个月可以暴露问题,而涂层试样一般至少需要 1~5 a 才能暴露问题^[20-21]。因此,试验时间应综合考虑不同材料和工艺试样的耐蚀性和试验环境的腐蚀严酷度而定。

对于试验弹,一般根据随航母服役寿命期剖面来确定试验时间。在寿命期内,各状态事件的时间历程不明确的情况下,还可综合考虑空空导弹随航母出航

周期及库房贮存时间占比、舰面挂机值班预防性维修周期、首翻期和上舰贮存要求等因素确定试验剖面。例如,当出航周期为8个月,库房贮存时间占比为80%时,空空导弹会有6.4个月处于库房贮存状态(包装箱状态),考虑到舰面转运停放和空中挂机飞行时间较短,至多会有1.6个月处于舰面挂机值班状态(裸弹状态),考虑到留有一定余量,可按2个月进行考核。同时,假如预防性维修周期为30d,首翻期为不小于24个月,若采用海面平台户外暴露方式,试验时间一般应至少为6个月;若采用“库内暴露+海面平台户外暴露”方式,试验时间一般至少为24个月,其中海面平台户外暴露2个月、库内暴露6个月为1个循环试验,共计3个循环,如图1所示。当分析发现库内暴露对产品影响有限时,可以适当缩短库内暴露时间。

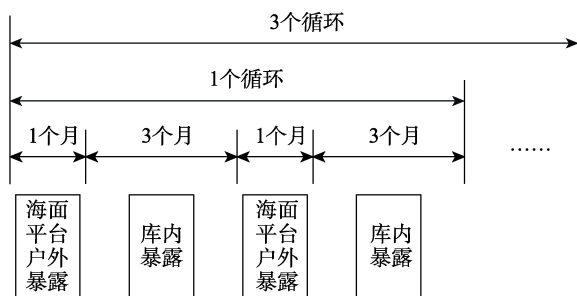


图1 空空导弹海洋大气自然环境试验剖面

Fig.1 Marine atmospheric natural environment test profile for air-to-air missiles

2.4 检查与检测

试验期间应遵循“前密后疏”的原则,定期对试验件进行外观检查,并详细记录外观检查结果^[22]。试验初期,推荐每周或每2周1次,中期每月或每3个月1次,后期每6个月或每年1次,具体应根据试验件耐蚀性、试验环境和试验目的而定。试验过程中,还可视试验件外观变化情况适当调整,确保所获得的试验数据能充分反映试验件的环境腐蚀行为。同时,还应每6个月或每年对试验件进行力学性能、功能/性能检测,并详细记录检测结果。

2.4.1 初始检测

试验前,应根据试验件种类、检测需求和环境敏感性进行外观、气密性检查,力学性能、功能/性能等初始检测,并做好记录,作为试验基准数据^[23]。

2.4.2 中间检测

试验过程中,试验件应按照上舰要求进行日常维护保养,如应定期对吊挂和翼肋涂防锈油等,还应定期观察试验件外观,对任何明显的外观变化或异常现象(失光、变色、粉化、起泡、发霉、生锈(金属)、脱层或开裂(复合材料)等)应进行文字说明和拍照记录,对于腐蚀严重的局部部位进行细节拍照,并按

要求进行功能/性能检测。根据外观检查和功能/性能检测情况,可适当延长或缩短检查和检测周期。

2.4.3 最终检测

试验结束后,应对试验件外观、力学性能、功能/性能进行最终检测,并对比试验前后的性能测试结果,评估电性能的下降程度。对于整机试验,还应进行气密性检查,然后拆解试验件检查内部腐蚀情况。

3 结语

本文给出了空空导弹海洋大气自然环境试验方案设计的一般流程、方法及要点,并提出了基于空空导弹随航母出航周期及库房贮存时间占比、舰面挂机值班预防性维修周期、首翻期和上舰贮存要求等因素确定试验剖面的方法,可以用于指导上舰型号科学有效地开展海洋大气自然环境试验,快速暴露问题,实现产品设计改进,为空空导弹上舰环境适应性的提高奠定基础。

随着空空导弹寿命要求不断提高,自然环境试验时间也会相应加长,仅采用自然环境试验,难以在研制进度紧张的情况下实现产品快速设计迭代。鉴于自然环境加速试验的可信度比实验室加速试验高,且可大幅缩短试验时间,建议自然环境试验和自然环境加速试验二者结合起来,这样能够发挥更大的优势。

参考文献:

- [1] 刘志强, 鲜大立. 电子装备自然环境试验的探讨[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(1): 120-121.
LIU Z Q, XIAN D L. Brief Discussion for Electronic Equipment Natural Environment Test[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(1): 120-121.
- [2] 卢亚辉, 韩志强. 两栖装甲装备防腐涂料自然环境试验研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(5): 37-41.
LU Y H, HAN Z Q. Research on Natural Environmental Test of Anti-Corrosion Paint of Amphibian Armoured Equipment[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(5): 37-41.
- [3] 孙国强, 罗健, 徐晋. 大型雷达热带海洋环境适应性设计[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2007, 25(5): 1-4.
SUN G Q, LUO J, XU J. The Tropical Ocean Environment Adaptability Design of the Large Radar[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2007, 25(5): 1-4.
- [4] 肖军, 廖志忠, 吴连锋. 空空导弹弹体结构海洋环境腐蚀防护[J]. 航空兵器, 2019, 26(6): 86-92.
XIAO J, LIAO Z Z, WU L F. Study on Corrosion Protection on Structure of Air-to-Air Missiles in Marine Environment[J]. Aero Weaponry, 2019, 26(6): 86-92.
- [5] 吴红光, 董洪远, 齐强, 等. 舰载武器装备海洋环境适应性研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(1): 161-165.

- WU H G, DONG H Y, QI Q, et al. Research on the Ocean Environment Suitability of Shipborne Weapon Equipment[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007, 22(1): 161-165.
- [6] 曲晓燕, 邓力. 舰载武器海洋环境适应性分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(4): 138-142.
- QU X Y, DENG L. Analysis of the Environmental Worthiness of Shipborne Weapons in Marine Environment[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(4): 138-142.
- [7] 林武强, 徐定海. 舰艇装备环境及其影响和存在问题分析[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 48-52.
- LIN W Q, XU D H. The Influence and Existing Problems of the Environment for and on Carrierbased Materiel[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(2): 48-52.
- [8] 刘丹. 大型电子产品热带海洋环境适应性设计与使用[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2013, 31(6): 64-67.
- LIU D. Design of Environmental Adaptability and Use of Large Electronic Products for Tropical Ocean[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2013, 31(6): 64-67.
- [9] 王乐, 丁晨, 房桂祥. 海洋自然环境下舰载武器失效模式分析[J]. 装备环境工程, 2019, 16(4): 98-102.
- WANG L, DING C, FANG G X. Failure Mode of Shipborne Weapons in Marine Natural Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(4): 98-102.
- [10] GJB 4239, 装备环境工程通用要求[S].
- GJB 4239, General Requirements for Materiel Environmental Engineering[S].
- [11] 瞿新辉, 肖文萍, 程德斌, 等. 直升机自然环境试验研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 39-41.
- QU X H, XIAO W P, CHENG D B, et al. Analysis of Natural Environmental Test of Helicopter[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 39-41.
- [12] 赵朋飞, 张生鹏, 翟疆, 等. 航天导弹装备自然环境试验方法探讨[J]. 装备环境工程, 2017, 14(11): 37-43.
- ZHAO P F, ZHANG S P, ZHAI J, et al. Testing Methods for Space Missile Materiel in Natural-Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(11): 37-43.
- [13] 秦晓洲, 李颖. 军用装备自然环境试验方法剪裁探讨[J]. 装备环境工程, 2011, 8(3): 54-57.
- QIN X Z, LI Y. On Tailoring of Natural Environmental Test Methods of Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(3): 54-57.
- [14] 肖敏, 赵全成, 杨华明, 等. 硅橡胶自然环境加速试验方法与自然环境试验方法等效性研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(11): 71-78.
- XIAO M, ZHAO Q C, YANG H M, et al. Equivalence between Natural Environmental Accelerated Test Methods and Natural Environmental Test Methods of Silicone Rubber[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(11): 71-78.
- [15] 方晓祖, 顾明俊, 刘子瑜. 38CrSi 钢大气暴露早期腐蚀行为研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2015, 38(5): 103-108.
- FANG X Z, GU M J, LIU Z Y. Atmospheric Exposure Early Corrosion Behavior of 38CrSi[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2015, 38(5): 103-108.
- [16] 贾静焕, 刘明, 骆晨, 等. 2A97 铝锂合金典型防护涂层热带海洋大气环境腐蚀老化行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2023, 43(1): 143-151.
- JIA J H, LIU M, LUO C, et al. Corrosion and Aging Behavior of 2A97 Al-Li Alloy with Typical Protective Coatings in Tropical Marine Atmosphere Environment[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2023, 43(1): 143-151.
- [17] 孙成, 孙灏, 陈中青, 等. 浅析军用装备自然环境试验与实验室环境试验的关系[J]. 环境技术, 2021, 39(4): 53-55.
- SUN C, SUN H, CHEN Z Q, et al. Analysis on the Relationship between Natural Environmental Test of Military Equipment and Laboratory Environmental Test[J]. Environmental Technology, 2021, 39(4): 53-55.
- [18] 胥泽奇, 魏小琴. 某枪用工程塑料环境适应性改进试验研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 113-116.
- XU Z Q, WEI X Q. Study of Environmental Worthiness of Improved Engineering Plastic Used in Rifle[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 113-116.
- [19] 骆晨, 孙志华, 汤智慧, 等. 2297-T87 铝锂合金用于大气腐蚀性的比较[J]. 装备环境工程, 2020, 17(5): 10-17.
- LUO C, SUN Z H, TANG Z H, et al. Comparison of Atmospheric Corrosivity of 2297-T87 Al-Cu-Li Alloy[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(5): 10-17.
- [20] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- WANG X H. Natural Environment Test Technology[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003.
- [21] 宣卫芳, 胥泽奇, 肖敏, 等. 装备与自然环境试验-基础篇[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
- XUAN W F, XU Z Q, XIAO M. Equipment and Natural Environment Test-Basic Chapter[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009.
- [22] 彭京川, 胥泽奇, 张世艳, 等. 军用涂层海洋大气自然环境试验方法与要求[J]. 装备环境工程, 2017, 14(6): 122-125.
- PENG J C, XU Z Q, ZHANG S Y, et al. Marine Atmosphere Natural Environment Test Methods and Requirements of Military Coatings[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(6): 122-125.
- [23] GJB 8893.2—2017, 军用装备自然环境试验方法 第2部分: 户外大气自然环境试验[S].
- GJB 8893.2—2017, Natural Environmental Test Methods for Military Materiel Part 2: Outdoor Atmospheric Weathering Test[S].